

不同干燥方式茉莉花理化性质及挥发性成分分析

盛金凤^{1,2}, 陈坤³, 唐雅园¹, 王雪峰¹, 何雪梅^{1,2*}, 周主贵¹, 零东宁¹, 雷雅雯¹, 李丽¹, 易萍¹, 郑凤锦¹, 叶冬青¹, 唐杰¹, 孙健^{1,2*}

(1. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007) (2. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 广西南宁 5300073) (3. 广西农业科学院玉米研究所, 广西南宁 530007)

摘要:以新鲜双瓣茉莉花为原料, 对比分析热风(HD)、微波(MVD)、微波-热风联合(MVD+HD)、真空冷冻(FD)干燥茉莉花的色泽、理化成分、抗氧化能力、氨基酸组分及挥发性风味物质的差异性。结果表明FD组茉莉花的 L^* 值最大, a^* 值和 ΔE 最小, 叶绿素、总酚含量最高, 抑制羟自由基能力最强; 而MVD+HD组茉莉花总氨基酸含量、必需氨基酸含量和必需氨基酸占比均最高, 分别为8.32 mg/g、2.67 mg/g和32.09%; 醇类在茉莉花干花挥发性成分中相对含量最大, 4种干燥方式FD组的茉莉花醇类、酯类和醛类相对含量最高分别为53.37%、5.40%、17.99%; 酮类、烷烃类、酸类在HD组中相对含量最高, 烯烃类和其他类在MVD组相对含量最高, 说明FD组能最大限度的保留茉莉花主要香气物质, 而HD组损失最大。综合表明, FD干燥的茉莉花色泽和香气最佳, 可开发成高端茉莉花产品; 而MVD+HD能较好的保留了茉莉花的香气和营养品质, 比较适宜产业化生产, 可作为茉莉花一种较理想的干燥方式。

关键词:干燥方式; 茉莉花; 理化性质; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2022)08-247-259

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1033

Physicochemical Properties and Volatile Composition Analysis of

Jasminum sambac (L.) Ait. Dried by Different Methods

SHENG Jinfeng^{1,2}, CHEN Kun³, TANG Yayuan¹, WANG Xuefeng¹, HE Xuemei^{1,2*}, ZHOU Zhugui¹, LING Dongning¹, LEI Yawen¹, LI Li¹, YI Ping¹, ZHENG Fengjin¹, YE Dongqing¹, TANG Jie¹, SUN Jian^{1,2*}

(1. Agro-food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China) (2. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning 530007, China) (3. Maize Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: Fresh double-petalled jasmine was used as the raw material for the comparative analysis of the color, physicochemical composition, antioxidant capacity, amino acid components and volatile aroma components of the flowers dried by hot-air drying (HD), microwave drying (MVD), microwave combined with hot-air drying (MVD+HD), and vacuum freeze-drying (FD). The results showed that the jasmine dried by FD had the highest L^* , lowest a^* and ΔE , highest contents of chlorophyll and total phenolics, and highest hydroxyl radical-inhibitory ability. The jasmine dried by MVD+HD had the highest total amino acid content, essential amino acid content and essential amino acids ratio (8.32 mg/g, 2.67 mg/g and 32.09%, respectively). The relative contents of alcohols in the dried flowers were the highest.

引文格式:

盛金凤,陈坤,唐雅园,等.不同干燥方式茉莉花理化性质及挥发性成分分析[J].现代食品科技,2022,38(8):247-259,+34

SHENG Jinfeng, CHEN Kun, TANG Yayuan, et al. Physicochemical properties and volatile composition analysis of *Jasminum sambac* (L.) Ait. dried by different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 247-259, +34

收稿日期: 2021-09-15

基金项目: 广西科学基地和人才专项(桂科AD19245202; 桂科AD19110141); “八桂学者”工程专项经费([2016]21); 广西农业科学院稳定资助科研团队项目(桂农科2021YT113); “科技先锋队‘强农富民’‘六个一’专项行动”项目(桂农科盟202115)

作者简介: 盛金凤(1987-), 女, 高级工程师, 研究方向: 农产品保鲜与加工, E-mail: shengjinfeng@gxaas.net; 共同第一作者: 陈坤(1984-), 男, 助理研究员, 研究方向: 风味化学, E-mail: 41549290@qq.com

通讯作者: 何雪梅(1981-), 女, 副研究员, 研究方向: 天然产物化学, E-mail: xuemeihe1981@126.com; 共同通讯作者: 孙健(1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品保鲜与加工, E-mail: jiansun@gxaas.net

Among the four groups, the relative contents of alcohols, esters and aldehydes of the FD group were 53.37%, 5.40% and 17.99%, respectively. The HD group had the highest relative contents of ketones, alkanes and acids, and the MVD group had the highest relative contents of alkenes and other kinds of volatiles, indicating that FD could retain the main aroma substances of jasmine flower to the greatest extent, whilst HD caused the largest loss. In general, the jasmine dried by FD had the best color and aroma and could be developed into high-end jasmine products. Whereas, MVD+HD could preserve the aroma and nutritional quality of jasmine, thereby being suitable for industrial production and used as an ideal drying method for drying jasmine flowers.

Key words: drying methods; jasmine; physicochemical properties; volatile components

茉莉花 (*Jasminum sambac* (L.) Ait.) 属木樨科茉莉花属, 全世界茉莉花约有 706 种, 是著名的花茶原料和重要的香精原料, 我国茉莉花栽培面积约占全球种植面积的三分之二^[1]。目前大面积栽培茉莉花的主要有广西、云南、福建等南方省区, 四大主产区为广西横县、四川犍为、福建福州、云南元江。2019 年, 中国茉莉花种植面积达到 1.29×10^4 hm^2 , 总产量 1.28×10^5 t; 其中横县茉莉花种植面积 7533 hm^2 , 占全国的 58.4%, 产量 9.6×10^4 t, 占全国总产量的四分之三^[2]。

茉莉花是气质型花, 清爽宜人的香气是她的主要特征。前人已经在茉莉花释香机理、茶坯吸香机理、简化加工工序、优化加工工艺等方面进行了大量研究^[3-6]。但对茉莉花干燥和干花品质评价方面的研究较少。近年来, 花茶类代用茶越来越受到年轻群体的欢迎。干燥是延长花卉类产品贮藏期的重要方式。不同的干燥方式对花卉品质影响差异显著, 邱程阳等^[7]采用 6 种方法对铁皮石斛花进行干燥得出冷冻干燥法所得的铁皮石斛花的黄酮、DPPH、羟自由基以及还原能力显著大于其他干燥组, 冷冻干燥法是目前较优的铁皮石斛花干燥方法; 卢紫娟等^[8]以不同干燥方式对款冬花主要化学成分分析得出阴干可最大程度的保留款冬花成分不受破坏, 55 °C 的烘干温度可降低烘干对款冬花成分的影响同时便于产业化生产; Zheng 等^[9]研究了冷冻干燥、微波干燥、真空干燥和热风干燥等方法干燥制备枇杷花茶, 得出冷冻干燥和 420 W 微波干燥能较好地保护有效成分; Wang 等^[10]采用的热风 (45、75、105 °C) 和微波 (30、60、90 s) 结合 75 °C 的热风对菊花进行干燥, 得出微波 30 s 与热风 75 °C 联合干燥的菊花的有效成分含量较高, 整体构象变化较小。由以上研究可知, 不同花卉所需要的干燥条件和最适宜的干燥方式不尽相同。

长期以来茉莉花以窰制茉莉花茶为主, 茉莉花产品形式单一, 不利于产业的长期稳定发展。以花为原料经过干制后开发代用茶产品 in 市场需求旺盛。怡人的香气是茉莉花的主要特征, 因此在开发茉莉花干花产品中对挥发性香气成分的分析是评价品质的主要方

式, 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用 (HS-SPME-GC-MS) 结合电子鼻技术近年来成为评价果蔬、粮油、肉制品挥发性成分发挥的重要手段^[11-13]。本文以我国种植面积和产量最大的双瓣茉莉花品种为原料, 分析热风干燥、微波干燥、微波-热风分段干燥、真空冷冻干燥的茉莉花干花产品色泽、理化成分、抗氧化能力及氨基酸组成, HS-SPMC-GC-MS 结合电子鼻技术分析 4 种干燥方式茉莉花挥发性成分的差异性, 筛选茉莉花干花产品适宜的干燥方式, 为茉莉花干花产品的开发和技术推广提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

茉莉花: 2020 年 5 月广西茉莉花交易市场购买, 为当天采摘的双瓣茉莉花半开放花苞, 运回实验室后 4 °C 存放, 3 日内完成原料处理实验。

试剂: 没食子酸、碳酸钠、苯酚、硫酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、碳酸钙、甲醇、乙醇、丙酮、碳酸钠、乙腈, 乙酸钠、三乙胺、醋酸、四氢呋喃均为分析纯; 17 种氨基酸标准品, 美国 Sigma 公司; 羟自由基测试试剂盒、抑制与产生超氧阴离子自由基测定试剂盒 (比色法), 南京建成生物工程研究所; 福林酚, 北京索莱宝科技有限公司。

1.2 主要仪器

WGLL-230BE 电热鼓风干燥箱, 天津市泰斯特仪器有限公司; G80F20CSL-B8(R1) 微波炉, 广东格兰仕微波生活电器制造有限公司; PILOT10-15M 中式冻干机, 北京博医康实验仪器有限公司; CM-3600A 分光测色计, 日本柯尼卡美能达株式会社; SHZ-DIII 真空泵, 巩义市予华仪器有限责任公司; UV-1800 紫外分光光度计, 上海美析仪器有限公司; Pegasus HRT 4D Plus 全二维气相-高通量高分辨质谱联用仪, 美国力可公司; 高效液相色谱仪, 美国安捷伦公司; FLBP-350A 万能高速粉碎机, 上海菲利博食品机械有限公司; PEN3 电子鼻系统, 德国 AIRSENSE 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 茉莉花干燥方法

1.3.1.1 热风干燥 (HD)

取 1 kg 茉莉花均匀摊放在干燥托盘上, 厚度控制在 1.0~1.5 cm, 温度 60 ± 1 °C, 风速 0.8~1.0 m/s, 湿度 50%~60%, 干燥至茉莉花湿基含水率 8% 以下, 取出冷却密封保存。

1.3.1.2 微波干燥 (MVD)

取 1 kg 茉莉花分成 10 批次开展微波干燥; 100 g/批均匀置于微波干燥盘中, 单层摆放, 控制茉莉花干燥初期微波功率 2.4 W/g, 干燥至茉莉花湿基含水率 8% 以下, 取出冷却密封保存。微波干燥阶段茉莉花最高温度为 81.3 ± 3.8 °C。

1.3.1.3 微波-热风分段干燥 (MVD+HD)

取 1 kg 茉莉花分成 10 批次开展第一阶段微波干燥; 100 g/批均匀置于微波干燥盘中, 单层摆放, 控制茉莉花干燥初期微波功率 2.4 W/g 干燥 2.0 min 后转入热风干燥箱, 热风干燥条件同 1.3.1.1, 干燥至茉莉花湿基含水率 8% 以下, 取出冷却密封保存; 微波干燥阶段茉莉花最高温度为 58.9 ± 3.8 °C。

1.3.1.4 冷冻干燥 (FD)

茉莉花均匀平铺于不锈钢托盘放入 -40 °C 冰箱预冻 5 h, 后采用真空冷冻干燥设备干燥; 真空度保持在 0.095~0.098 MPa; 干燥参数为 -60 °C 干燥 300 min, -40 °C 干燥 200 min, -20 °C 干燥 200 min, 后 35 °C 干燥至茉莉花湿基含水率 8% 以下, 取出密封保存。

以上 4 种干燥工艺参数的按设置是在前期实验优化的基础上确定的结果。不同干燥的茉莉花各取 50 g 经高速粉碎机粉碎过 100 目筛, -20 °C 贮藏用于理化指标的测定。挥发性成分和电子鼻分析采用干燥后的整花测定。

1.3.2 水溶性浸出物测定

称取 0.2 g 茉莉花粉末 (精确 0.0001 g) 于锥形瓶中, 加入 50 mL 沸蒸馏水后立即沸水浴 45 min (期间间隔 10 min 摇匀一次), 浸提完成后立即减压过滤 (使用提前与铝盒烘干后称重的滤纸), 用沸蒸馏水洗涤样品渣数次, 将样品渣连同滤纸放入提前烘干并称重的铝盒中, 120 °C 烘干至恒重, 平行 3 组。

1.3.3 可溶性糖测定

采用苯酚硫酸法, 称取 0.1 g 茉莉花粉末, 加 50 mL 蒸馏水, 于沸水中提取 40 min 后冷却过滤, 用蒸馏水定容 100 mL 即为样液。取 0.5 mL 样液加 1.5 mL 蒸馏水混匀后加入 1 mL 0.09 g/mL 苯酚溶液摇匀, 20 s 内加入 5 mL 浓硫酸混合均匀, 室温下反应 30 min, 调

零管用蒸馏水代替样液加入各试剂同步反应。在 485 nm 处测定各管吸光值, 平行 3 组。

1.3.4 总酚测定

福林-酚法: 称取约 0.1 g 茉莉花粉末加入 25 mL 50% 乙醇, 在 70 °C 条件下提取 2 h, 冷却后过滤使用 50% 乙醇定容 50 mL 即为样液。取样液 1 mL 加入 5 mL 蒸馏水, 混匀后加入 1 mL 福林酚试剂, 3 mL 20% 碳酸钠溶液混匀于 40 °C 避光保温 1 h, 调零管用蒸馏水加各试剂后同步反应, 在 765 nm 处测定各管吸光值, 平行 3 组。使用 10 mg/L 没食子酸标准溶液制作标曲, 得到标准曲线线性回归方程:

$$y=0.0116x+0.0106 \quad (R^2=0.9999)$$

式中:

x——没食子酸溶液质量浓度, $\mu\text{g/mL}$;

y——765 nm 处吸光值。

1.3.5 抗氧化测定

称取 1 g 茉莉花粉末 (精确 0.0001 g), 加 10 mL 80% 甲醇提取液避光放置 24 h, 25 °C、10000 r/min 离心取上层澄清液体, 使用南京建成生物工程研究所所制试剂盒, 按照说明书的方法测定抑制羟自由基能力、产生超氧阴离子活力。每个样品平行 3 次。

1.3.6 色泽测定

使用分光测色计进行样品 Lab 值测量, 亮度 L^* 、红绿 a^* 、黄蓝 b^* , L^* 、 a^* 、 b^* 值为正数即分别表示色泽偏白、红、黄, 反之偏暗、绿、蓝, 每组样品测量平行 8 次; 色差 ΔE 表示与鲜品的参考颜色差程度, ΔE 越大表明与参考颜色差距越大。 ΔE 计算公式如下。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

式中:

L^* 、 a^* 、 b^* 值——分别为干燥后茉莉花的亮度、红度、黄度;

L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 值——分别为新鲜茉莉花的亮度、红度、黄度。

1.3.7 叶绿素含量测定

称取 1 g (精确 0.001 g) 茉莉花粉末放入研钵中, 加少量石英砂和碳酸钙粉及 10 mL 80% 丙酮溶液, 研成匀浆, 直至样品组织变白, 静置 10 min 提取。提取完成后过滤至 50 mL 棕色容量瓶中, 使用 80% 丙酮溶液少量多次冲洗研钵、研棒和滤纸中的残渣至无明显绿色。最后 80% 丙酮定容, 摇匀, 以 80% 丙酮溶液参比调零, 分别测定 663 nm 和 645 nm 两处波长提取液吸光值。

1.3.8 氨基酸组分分析

安捷伦高效液相色谱仪: 游离氨基酸分析样品前处理方法: 精确称取样品 1.0 g (精确至 0.0001) 加入 10 mL 5% (V/V) 的三氯乙酸沉淀 2 h。吸取一定的量

于 10000 r/min 离心 15 min。取一定体积的上清液调 pH 至 2.0 左右定容, 用 0.45 μm 微膜过滤至样品杯中上机测定。

四元泵, 自动进样器进样 1 μL , 荧光检测器, hypersil ODS C18 4.6 mm \times 250 mm 柱 OPA 自动衍生, 色谱工作站 (安捷伦公司, 美国)。柱温 40 $^{\circ}\text{C}$; 流速 1.0 mL/min。紫外检测器: 0~22.5 min 波长 338 nm, 22.5 min 后波长 262 nm。荧光检测器: 激发波长 340 nm 发射波长 450 nm; 22.5 min 时激发波长 266 nm 发射波长 305 nm;

流动相: A 相: 称取 2.0 g 乙酸钠 (三个结晶水) 置 800 mL 毫升烧杯中; 加入 500 mL 水, 搅拌至所有结晶水溶解; 加入 90 μL 三乙胺并混合; 滴加 1%~2% 的醋酸, 将 pH 调到 7.20 \pm 0.05; 加入 2.5 mL 四氢呋喃, 并混合。

流动相: B 相: 称取 2.00 g 乙酸钠 (三个结晶水) 置 200 mL 烧杯中; 加入 100 mL 水, 搅拌至所有结晶溶解; 滴加 1%~2% 醋酸将 pH 调到 7.20 \pm 0.05; 将此溶液加入 200 mL 乙腈和 200 mL 甲醇, 并混合。

流动相进液采用梯度法: 0~27 min 流动相百分比例 A:B=92:8, 流速 1.0 mL/min; 27~31 min A:B=50:50, 流速 1.0 mL/min; 31~33.5 min A:B=0:100, 流速 1.5 mL/min; 33.5~35 min A:B=100:0, 流速 1.0 mL/min^[14]。

1.3.9 挥发性成分分析

取 2 g 干燥后的茉莉花置于 20 mL 顶空瓶中, 将老化后的 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 60 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min, 同时启动仪器采集数据。

色谱柱: DB-Wax (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm); 柱温: 初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 初始时间 3 min, 速率 10 deg/min; 最终温度 230 $^{\circ}\text{C}$, 保持时间 6 min; 载气: He; 柱流量 1.00 mL/min, 进样口温度 250 min, 不分流进样。质谱条件: 电子电离 (electron ionization, EI) 离子源, 发射电流 1 mA, 电子能 70 eV, 界面温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 源温度 200 $^{\circ}\text{C}$, 检测电压 2000 V。

1.3.10 电子鼻分析检测^[15]

电子鼻测定方法: 称量 2.0 g 干燥后的茉莉花放入 100 mL 样品瓶内, 25 $^{\circ}\text{C}$ 平衡 30 min, 依次进行 3 次平行测定以获取数据。

电子鼻条件: 初始进样流量 300 $\mu\text{L}/\text{min}$, 取样间隔时间 1 s, 清洗时间 90 s, 检测时间 80 s, 零点修剪时间 10 s。在数据分析与处理时, 选择传感器信号稳定后的值 (一般在 50 s 后基本稳定), 每组样品做 3

次平行重复。

表 1 化学传感器对不同物质的响应类型

Table 1 Chemical sensors corresponding to different typers of volatile substances

阵列序号	传感器	响应物质类型
1	W1C	芳香成分苯类
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	氨类、芳香成分灵敏
4	W6S	对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香族, 有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.4 数据处理

采用 SPSS 22 软件的 Duncan 检验分析进行方差分析, $p < 0.05$ 表示差异显著; 使用 origin 9.1 作图, 使用 Winmuster 对电子鼻数据作图。

2 结果与讨论

2.1 干燥方式对茉莉花色泽的影响

表 2 干燥方式对茉莉花色泽的影响

Table 2 Effects of different drying methods on the color of jasmine

干燥方式	L^*	a^*	b^*	ΔE
HD	78.60 \pm 0.41 ^a	2.31 \pm 0.17 ^d	26.26 \pm 0.37 ^b	15.16 \pm 0.42 ^d
MVD	79.54 \pm 0.24 ^b	0.23 \pm 0.08 ^b	23.27 \pm 0.33 ^a	11.88 \pm 0.34 ^b
MVD+HD	79.83 \pm 0.48 ^b	1.92 \pm 0.17 ^c	26.33 \pm 0.59 ^b	14.35 \pm 0.61 ^c
FD	86.48 \pm 0.70 ^c	-2.74 \pm 0.19 ^a	23.97 \pm 1.16 ^a	8.70 \pm 1.23 ^a

注: 同列不同字母表示茉莉花不同干燥方式差异显著 ($p < 0.05$)。

色泽是衡量干花品质的重要指标, 物料在干制过程中色泽变化的影响因素较多, 干燥过程中的酶促和非酶促反应程度不同、叶绿素的降解、维生素 C 的氧化、美拉德反应均会影响产品的色泽^[16]。不同干燥方式对茉莉花的色泽结果见表 2; HD 组茉莉花 L^* 值最小, MVD 和 MVD+HD 两组茉莉花 L^* 值差异不显著, 而 FD 组 L^* 值最大, 且与其他各组均存在显著性差异 ($p < 0.05$); HD、MVD 和 MVD+HD 组 a^* 值均为正数, 其中 HD 组最大为 2.31, FD 组最小为 -2.74; b^* 值越大, 样品的颜色越黄, MVD 和 FD 组 b^* 值之间没有显著性差异, 分别为 23.27、23.97, HD 和 MVD+HD 组 b^*

值较高;色差 ΔE 表示与鲜品的参考颜色差距程度, ΔE 越小表明与参考颜色差距越小。茉莉花 ΔE 最大为 15.16, 其次为 MVD+HD 和 MVD 组, FD 组 ΔE 最小为 8.70, 且 4 组干燥方式的茉莉花 ΔE 均存在显著性差异 ($p < 0.05$)。HD 组干燥茉莉花所需要的时间为 13 h, MVD 干燥时间为 42 min, MVD+HD 干燥时间为 11.5 h, FD 干燥总时间为 48 h; 干燥方式不同, 干燥时间相差很大。HD 组茉莉花长时间的高温导致干燥茉莉花 ΔE 最大, 褐变最严重; MVD 干燥时间最短, 但是 MVD 干燥阶段温度最高可升高至 81.3 °C, MVD+HD 干燥时间略低于 HD 组, ΔE 也与 HD 组存在显著性差异; FD 干燥温度低且处于真空环境中, 因此 FD 组茉莉花的色泽最佳。

2.2 干燥方式对茉莉花叶绿素含量影响

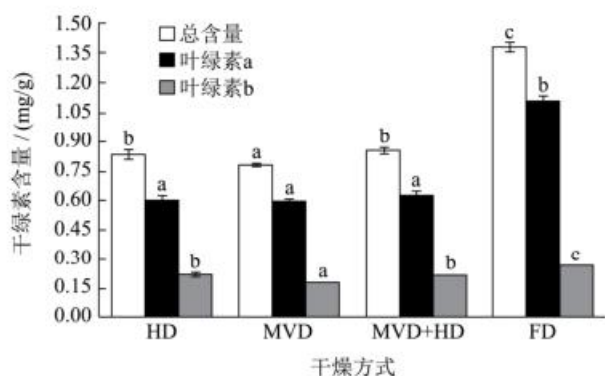


图1 不同干燥方式对茉莉花叶绿素影响

Fig.1 Effect of different drying methods on chlorophyll of jasmine

注: 同类物质不同字母表示含量存在显著差异 ($p < 0.05$)。

叶绿素是高等植物体含有的一类绿色色素, 主要为叶绿素 a 和叶绿素 b 两种, 叶绿素 a 呈现绿色, 叶绿素 b 比叶绿素 a 多一个羰基, 颜色呈黄绿色^[17]。由图 1 知, MVD、MVD+HD 和 HD 3 种干燥方式的茉莉花叶绿素 a 含量没有显著性差异; MVD+HD、HD 叶绿素 b 和叶绿素总含量没有显著性差异 ($p > 0.05$), MVD 叶绿素 b 含量最低; FD 干燥的茉莉花叶绿素 a、b 和叶绿素总含量均最高, 结合表 1 中不同干燥方式茉莉花的色泽, 说明 FD 组茉莉花中叶绿素的含量损失

较少, 从而使茉莉花更好的保留原有的色泽。而微波干燥虽然加热时间短, 但干燥腔体温度分布不均导致物料局部过热 (微波干燥阶段茉莉花局部温度可升高至 85.1 °C), 从而导致叶绿素损失较多, 而热风干燥由于加热时间长, 叶绿素损失同样严重^[15]。

2.3 干燥方式对茉莉花理化成分影响

水溶性浸出物影响代用茶的滋味、气味和色泽等。由表 3 可知, 水溶性浸出物含量排序为 MVD>MVD+HD>HD>FD, 即经过 MVD (微波干燥) 的茉莉花水溶性浸出物含量最高, 而真空冷冻干燥的茉莉花水溶性浸出物最低仅为 39.55%, 不同干燥方式制备的茉莉花水溶性浸出物含量之间存在显著性差异。微波干燥过程中物料内部分子发生剧烈运动, 可能破坏了茉莉花细胞壁和细胞膜结构内部, 使细胞内物质更容易析出, 而 FD (真空冷冻干燥) 对茉莉花细胞壁破坏性小, 细胞可溶性成分比较难析出。可溶性糖为茉莉花中可溶解的多糖总称, 不同干燥方式茉莉花可溶性糖含量的差异与水溶性浸出物相似, 微波干燥 (MVD) 的茉莉花可溶性糖含量最高, FD 干燥的茉莉花可溶性糖含量最低; 可能与水溶性浸出物原因一致。

MVD、MVD+HD 和 HD 干燥的茉莉花总酚含量没有显著性差异 ($p > 0.05$), 在 15.02~15.23 mg/g 之间, 而 FD 干燥的茉莉花总酚含量 16.21 mg/g, 与其他 3 组之间存在显著性差异。茉莉花中含有 β -谷甾醇、 β -胡萝卜素、齐墩果酸、槲皮素、芦丁等化合物, 是茉莉花酚类化合物的主要成分^[18]。从表 3 结果可知, FD 干燥条件下茉莉花总酚含量最高, 这可能是由于 FD 低温干燥以及真空环境更大程度的减少了酚类物质的损失, 这与赵金梅等人的研究结果相似^[19]; 茉莉花花瓣组织柔软含水率高, 尽管 MVD 干燥时间短 (42 min), 但 MVD 干燥阶段茉莉花温度可升高至 81.3±3.8 °C, 导致茉莉花汁液流失以及酚类物质的降解; 从而使 MVD 干燥的茉莉花的总酚含量与 HD 组没有显著性差异; MVD+HD 整个干燥过程中干燥温度和时间都比较接近 HD 组, 从而使总酚含量与 HD 组也没有显著性差异。

表 3 不同干燥方式茉莉花成分分析

Table 3 Effects of different drying methods on chemical composition of jasmine

干燥方式	水溶性浸出物/%	可溶性糖/%	总酚/(mg/g)	抑制羟自由基能力/(U/mg)	抗超氧阴离子活力单位/(U/g)
HD	42.63±0.45 ^b	13.01±0.15 ^c	15.02±0.29 ^a	4.99±0.03 ^b	1.69±0.10 ^a
MVD	47.03±1.16 ^d	17.13±0.08 ^d	15.23±0.09 ^a	4.86±0.09 ^a	1.72±0.02 ^a
MVD+HD	44.92±0.70 ^c	12.51±0.12 ^b	15.08±0.25 ^a	5.48±0.06 ^c	1.62±0.05 ^a
FD	39.55±0.35 ^a	9.58±0.08 ^a	16.21±0.15 ^b	5.63±0.08 ^d	1.71±0.00 ^a

注: 同一指标不同字母表示茉莉花不同干燥方式差异显著 ($p < 0.05$)。

表4 不同干燥方式茉莉花氨基酸组分

Table 4 Effects of different drying methods on amino acids of jasmine

游离氨基酸	含量/(mg/g)			
	HD	MVD	MVD+HD	FD
天冬氨酸 (Asp)	0.33±0.04	0.52±0.01	0.26±0.01	0.25±0.03
谷氨酸 (Glu)	1.61±0.14	1.87±0.12	1.47±0.31	1.70±0.09
丝氨酸 (Ser)	0.07±0.02	0.06±0.01	0.09±0.02	0.49±0.08
组氨酸 (His)	0.03±0.00	0.00±0.00	0.03±0.00	0.03±0.00
甘氨酸 (Gly)	0.07±0.01	0.03±0.00	0.12±0.03	0.01±0.01
苏氨酸 (Thr)*	0.33±0.01	0.24±0.01	0.40±0.01	0.25±0.01
精氨酸 (Arg)	0.50±0.02	0.34±0.03	0.62±0.03	0.25±0.02
丙氨酸 (Ala)	1.00±0.13	0.43±0.09	1.70±0.16	0.39±0.04
酪氨酸 (Tyr)	0.46±0.12	0.47±0.03	0.46±0.11	0.10±0.01
缬氨酸 (Val)*	0.55±0.07	0.34±0.04	0.73±0.04	0.17±0.05
蛋氨酸 (Met)*	0.00±0.01	0.16±0.05	0.02±0.00	0.00±0.00
苯丙氨酸 (Phe)*	0.21±0.03	0.12±0.02	0.23±0.01	0.11±0.02
异亮氨酸 (Ile)*	0.25±0.04	0.13±0.03	0.38±0.07	0.08±0.01
亮氨酸 (Leu)*	0.43±0.10	0.19±0.08	0.66±0.13	0.10±0.03
赖氨酸 (Lys)*	0.17±0.05	0.09±0.02	0.25±0.05	0.12±0.04
EAA 总量	1.94±0.67	1.27±0.22	2.67±0.19	0.83±0.42
AA 总量	6.46±0.95	5.30±0.87	8.32±1.13	4.21±1.29
EAA/AA(%)	30.03	23.96	32.09	19.71

注: *为人体必需氨基酸。

茉莉花具有一定的抗氧化活性^[20]。羟基自由基($\cdot\text{OH}$)是一种重要的活性氧,抑制羟自由基能力是衡量样品抗氧化能力的重要指标,从表3结果可知4种干燥方式的茉莉花抑制羟自由基能力在4.86~5.63 U/mg,其中FD组茉莉花抑制羟自由基能力最强,其次为MVD+HD组,最低为MVD组,各组之间抑制羟自由基能力存在显著性差异,说明干燥方式对茉莉花抑制羟自由基能力影响显著($p<0.05$)。4组茉莉花的抗超氧阴离子活力单位在1.62~1.72 U/g之间,不同干燥方式加工的茉莉花抗超氧阴离子能力差异不显著($p>0.05$)。

2.4 干燥方式对茉莉花游离氨基酸的影响

氨基酸是构成蛋白质的基本组成单位,也是人体必需的重要营养元素^[21]。茉莉花中各氨基酸的含量如表4所示,从表4可以看出,茉莉花含有天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、组氨酸、甘氨酸等16种氨基酸(色氨酸、半胱氨酸未检测)。HD、MVD、MVD+HD、FD4种干燥方式的氨基酸总量分别为6.46、5.30、8.32、4.21 mg/g, MVD+HD总氨基酸含量最高,是FD总氨基酸含量的1.98倍;相比于沙枣花、茶树花、黄花菜等,茉莉花中氨基酸含量偏低^[19,22,23]。4种干燥方式的

茉莉花人体必需的氨基酸含量分别1.94、1.27、2.67、0.83 mg/g,分别占总氨基酸含量的30.03%、23.96%、32.09%、19.71%。从以上结果可知, MVD+HD总氨基酸含量、必需氨基酸含量、必需氨基酸占比均为最高,其次为HD、MVD、FD。从单个氨基酸含量来看,谷氨酸在4种干燥方式的茉莉花中含量均最高,分别为1.61、1.87、1.47、1.70 mg/g,谷氨酸有健脑作用,且能使食味鲜美。HD和MVD+HD两种干燥方式的丙氨酸含量远远高于MVD和FD组,说明长时间高温促进了丙氨酸的生成,这与沈思远等^[24]的研究结果一致。

2.5 干燥方式茉莉花呈味氨基酸组成分析

氨基酸不仅具有各种生理功能,也是食物重要的呈味物质的来源,其呈现出鲜、甜、酸、苦及涩等味感形成了食物丰富的味觉层次^[25],根据氨基酸呈味特性不同,将其分为鲜味、甜味、芳香族氨基酸等。天冬氨酸和谷氨酸可呈现很强的鲜味,丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸和脯氨酸则表现出浓厚的甜味,芳香族氨基酸为包括苯丙氨酸和酪氨酸^[26]。从表5茉莉花呈味氨基酸组成结果可知, MVD干燥的茉莉花的鲜味氨基酸含量最高,2.39 mg/g,占氨基酸总量的45.09%,

HD、FD 两组的鲜味氨基酸含量接近, MVD+HD 组含量最低仅为 1.73 mg/g。茉莉花甜味氨基酸排序为 MVD+HD>HD>FD>MVD 组。MVD+HD 含量甜味氨基酸最高为 2.81 mg/g, 占氨基酸总量的 33.77%; 茉莉花芳香族氨基酸排序为 MVD>HD>MVD+HD>FD, 4 种干燥方式的芳香族氨基酸含量和占比都相对较低。4 种干燥方式的茉莉花呈味氨基酸相对含量都高于 60%, 说明呈味氨基酸组成茉莉花中氨基酸的主要部分; 呈味氨基酸总含量 MVD+HD 组最高为 5.23 mg/g, 但相对含量最低为 62.86%, 而呈味氨基酸总含量 FD 组最低为 3.21 mg/g, 但相对含量最高为 76.25%。说明不同的干燥方式对茉莉花总氨基酸损耗和呈味氨基酸损失趋势并不同。

2.6 干燥方式对茉莉花挥发性成分的影响

经过 HD 干燥的茉莉花挥发性成分共鉴定出 192 种物质, 相对含量大于 0.1% 的物质有 71 种, 占总物质的 95.08%; 其中酯类 6 种、醇类 12 种、醛类 8 种、酮类 7 种、烷烃 6 种、烯烃 13 种、酸类 5 种、其他 14 种; 其中醇类的相对含量最高, 为 32.02%, 其次为烷烃类和烯烃类相对含量接近, 分别为 12.63%、12.49。MVD 组共鉴定出 165 种物质; 相对含量大于 0.1% 的物质有 56 种, 占总物质的 95.79%; 其中酯类 10 种、醇类 11 种、醛类 1 种、酮类 4 种、烷烃 7 种、烯烃 14 种、酸类 3 种、其他 6 种; 其中醇类的相对含量最高, 为 51.66%, 其次为烯烃类 17.38%、其他类 9.91%。MVD+HD 组共鉴定出 186 种物质; 相对含量大于 0.1% 的物质有 68 种, 占总物质的 95.08%; 其中酯类 8 种、醇类 15 种、醛类 8 种、酮类 8 种、烷烃 6 种、烯烃 8 种、酸类 4 种、其他 11 种; 其中醇类的相对含量最高, 为 51.15%, 其次为烯烃类 8.60%、烷烃类 8.04%。FD 组共鉴定出共鉴定出 181 种物质; 相对含量大于 0.1% 的物质有 67 种, 占总物质的 96.90%;

其中酯类 8 种、醇类 13 种、醛类 11 种、酮类 2 种、烷烃 4 种、烯烃 13 种、酸类 4 种、其他 10 种; 其中醇类的相对含量最高为 53.37%, 其次为醛类 17.99%、烯烃类 9.76%。

从表 6 的结果可以看出, 醇类是茉莉花干花挥发性成分相对含量最大的物质, MVD、MVD+HD 和 FD 组醇类的相对含量都在 50% 以上, 而 HD 中醇类的相对含量较低为 32.02%。4 种干燥方式中醇类、酯类和醛类相对含量最高的都是 FD 组的茉莉花, 相对含量分别为 53.37%、5.398%、17.99%; 酮类、烷烃类、酸类在 HD 组中相对含量最高, 分别为 7.86%、12.63%、4.07%; 烯烃类和其他类在 MVD 组相对含量最高, 分别为 17.38%、9.91%。其中 HD 组茉莉花挥发性前五大物质分别为苯甲醇(18.66%)、2,2,4,6,6-五甲基庚烷(8.96%)、 α -金合欢烯(5.52%)、乙醇(4.88%)、反式-2,4-庚二烯醛(4.25%); MVD 组前五大挥发性物质分别为苯甲醇(30.04%)、 α -金合欢烯(10.98%)、吡啶(7.08%)、2,3-二甲基-3-丁烯-2-醇(8.65%)、芳樟醇(5.44%); MVD+HD 组前五大挥发性物质分别苯甲醇(33.08%)、异十二烷(6.03%)、乙醇(6.65%)、 α -金合欢烯(4.79%)、2,3-二甲基-3-丁烯-2-醇(3.69%); FD 组前五大挥发性物质分别苯甲醇(31.90%)、芳樟醇(11.01%)、 α -金合欢烯(6.15%)、水杨酸甲酯(4.10%)、2,3-二甲基-3-丁烯-2-醇(3.12%)。前人研究表明苯甲醇、苯甲酸甲酯、芳樟醇、丁酸顺-3-己烯酯、吡啶、 α -法尼烯等是茉莉花香气的成分^[6,27-29]。芳樟醇具有好闻的铃兰型香气, 本身及其氧化物对茉莉花香气贡献非常大与硫酸苷或醋酸苷作用转化成香叶醇、橙花醇等香气物质^[29]。从 4 种干燥方式茉莉花挥发性结果可知, FD 组保留茉莉花主要香气物质最多, 而 HD 组损失最大。

表 5 不同干燥方式茉莉花呈味氨基酸组成

Table 5 Flavor amino acid composition of jasmine by different drying methods

干燥方式	鲜味氨基酸		甜味氨基酸		芳香族氨基酸		呈味氨基酸合计	
	含量/(mg/g)	相对含量/%	含量/(mg/g)	相对含量/%	含量/(mg/g)	相对含量/%	含量/(mg/g)	相对含量/%
HD	1.94	30.03	1.58	24.46	0.67	10.37	4.19	64.86
MVD	2.39	45.09	0.81	15.28	0.59	11.13	3.79	71.51
MVD+HD	1.73	20.79	2.81	33.77	0.69	8.29	5.23	62.86
FD	1.95	46.32	1.05	24.94	0.21	4.99	3.21	76.25

表6 不同干燥方式茉莉花挥发性成分

Table 6 Volatile aroma components of jasmine by different drying methods

物质类别	分类与序号	保留时间/s	物质名称	相对含量/%			
				HD	MVD	MVD+HD	FD
酯类	1	296.9	烯丙基丙酯	-	0.38	-	-
	2	347.8	丙二酸环(亚)异丙酯	0.84	-	0.52	-
	3	542.9	己酸甲酯	-	-	-	0.18
	4	594.6	甲酸戊酯	-	0.12	-	-
	5	639.8	反式-2-己烯甲酯	-	-	-	0.218
	6	660.4	乙酸叶醇酯	0.39	0.49	0.53	0.64
	7	684.3	甲酸正己酯	-	-	0.16	-
	8	778.0	Z-3-己烯 2-丙酸甲酯	-	0.12	-	-
	9	837.6	乙酸芳樟酯	2.52	-	-	-
	10	921.6	4-羟基丁酸内酯	-	-	0.13	-
	11	953.2	γ -依兰油烯	-	0.18	-	-
	12	979.8	乙酸苜酯	0.34	1.13	0.44	0.16
	13	1018.3	水杨酸甲酯	-	0.431	-	4.10
	14	1039.0	水杨酸乙酯	-	-	-	0.11
	15	1103.8	反,反-六-2,4-乙酸二烯酯	-	0.59	-	-
	16	1224.2	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	3.10	2.86	2.32	1.66
	17	1291.5	氨基酸甲酯	0.53	0.98	0.89	0.83
	18	1566.1	苯甲酸苜酯	-	-	0.28	-
醇类	1	276.6	反式丁烯-1,4-二醇	-	0.10	-	-
	2	305.5	乙醇	4.88	4.50	6.65	0.28
	3	326.0	(S)-庚-6-烯-2-醇	-	-	0.17	-
	4	381.8	仲丁醇	-	-	-	0.15
	5	510.4	1-戊烯-3-醇	1.55	-	0.65	1.35
	6	594.4	1-戊醇	0.18	-	-	-
	7	594.5	异戊醇	-	-	0.12	-
	8	658.0	顺-2-戊烯醇	0.48	-	0.23	0.46
	9	684.4	正己醇	-	-	-	0.37
	10	712.9	叶醇	1.44	0.27	1.46	2.96
	11	729.8	顺-2-己烯-1-醇	-	-	-	0.30
	12	786.9	反式-醇	0.30	-	-	-
	13	794.2	2-乙基乙醇	-	-	-	0.14
	14	834.2	2,3-丁二醇	-	-	0.97	-
	15	837.6	芳樟醇	-	5.44	1.99	11.01
	16	867.8	3,5-辛二烯-2-酮	0.59	-	-	-
	17	885.2	脱氢芳樟醇	-	-	0.13	-
	18	901.6	二乙基酮醇	0.18	-	-	-
	19	901.6	正丙基缩水甘油醇	-	0.39	-	0.75
	20	928.4	2,2-二甲基-3-戊醇	1.08	1.68	1.19	-
	21	951.3	2-甲基-5-己烯-3-醇	-	0.25	-	-
	22	967.0	3-甲基-4-戊醇	-	0.21	-	-
	23	991.5	4-甲基-1-戊烯-3-醇	2.51	-	-	-

续表 6

物质类别	分类与序号	保留时间/s	物质名称	相对含量/%			
				HD	MVD	MVD+HD	FD
	24	991.5	2,3-二甲基-3-丁烯-2-醇		8.65	3.69	3.12
	25	1073.2	苯甲醇	18.66	30.04	33.09	31.91
	26	1095.7	苯乙醇	0.17	0.13	0.50	0.57
	27	1101.2	脱氢芳樟醇	-	-	0.21	-
	28	1133.5	麦芽醇	-	-	0.21	-
醛类	1	296.8	异戊醛	1.37	-	2.13	-
	2	347.5	戊醛	-	0.55	-	0.27
	3	442.2	己醛	0.30	-	0.17	0.95
	4	491.8	反式-2-戊烯醛	-	-	-	0.15
	5	560.1	2-己烯醛	0.37	-	0.35	0.25
	6	687.4	3-羟基-2-戊酮	0.17	-	-	-
	7	728.0	壬醛	-	-	-	0.13
	8	740.6	(E,E)-2,4-己二烯醛	0.13	-	0.10	0.44
	9	787.9	反式-2,4-庚二烯醛	4.25	-	1.24	-
	10	789.6	2-呋喃甲醛	0.14	-	0.30	-
	11	811.6	反式-2,4-庚二烯醛	1.93	-	0.85	0.29
	12	845.7	紫丁香醛 C	-	-	-	0.15
	13	856.8	紫丁香醛 A	-	-	-	0.12
	14	879.3	反-2-顺-6-壬二烯醛	-	-	-	2.11
	15	925.4	苯乙醛	-	-	0.72	0.25
酮类	1	385.2	1-戊烯-3-酮	0.63	-	-	-
	2	420.5	2,3-戊二酮	0.48	-	0.16	-
	3	487.8	3-戊烯-2-酮	0.47	0.44	0.46	-
	4	637.3	3-羟基-2-丁酮	0.52	-	0.79	-
	5	653.4	羟基丙酮	-	0.20	0.16	-
	6	680.1	甲基庚烯酮	2.19	0.17	0.63	-
	7	680.2	2-甲基-1-庚烯酮	-	-	-	0.12
	8	684.2	2,5-四氢呋喃二酮	0.12	-	-	-
	9	828.7	3,5-辛二烯-2-酮	3.46	-	1.19	0.21
	10	839.6	苯甲醛	-	0.70	-	-
	11	867.8	3,5-辛二烯酮	-	-	0.27	-
	13	1171.5	二氢-3-羟基-4,4-二甲基-2(3H)呋喃酮	-	-	0.12	-
	烷烃类	1	329.7	异十二烷	8.96	3.38	6.03
2		361.4	癸烷	0.91	0.38	0.60	
3		375.3	2,2,4,4-四甲基辛烷	1.64	-	-	0.24
4		375.4	2,2-二甲基己烷	-	0.63	1.08	-
5		522.6	3-甲基十一烷	-	0.16	0.24	0.11
6		553.6	正十二烷	0.58	0.29	0.39	0.22
7		702.4	正十四烷	0.34	-	-	-
8		728.3	十一烷	0.20	-	-	-
9		728.4	十六烷	-	0.17	0.25	-
12		1178.1	8-异丙基-1-甲基-3-亚甲基三环[4.4.0.0 ^{2,7}]癸烷	-	0.57	-	-

续表 6

物质类别	分类与序号	保留时间/s	物质名称	相对含量/%			
				HD	MVD	MVD+HD	FD
烯烃类	1	431.3	7,7-二甲基-6-苯基-2,4,5-庚三烯	0.12	-	-	-
	2	521.3	月桂烯	-	-	-	0.65
	3	556.5	柠檬烯	-	-	-	0.27
	4	587.5	(E)-B-罗勒烯	-	-	-	0.16
	5	602.9	3-萜烯	-	0.11	-	-
	6	603.1	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	-	-	-	0.50
	7	651.4	(E)-4,8-二甲基壬烷-1,3,7-三烯	-	0.22	-	0.11
	8	799.3	γ -榄香烯	-	0.12	-	-
	9	810.2	α -蒎烯	0.19	0.12	-	-
	10	881.4	β -榄香烯	0.18	0.27	0.11	0.26
	11	886.6	顺-依兰油烯-二烯	-	0.10	-	-
	12	891.4	反式丁香烯	0.19	0.31	-	0.17
	13	943.4	α -律草烯	0.47	0.79	0.26	0.31
	14	953.0	γ -依兰油烯	0.30	-	0.19	-
	15	953.3	依兰烯	-	-	-	0.112
	16	969.9	右旋大根香叶烯	1.14	1.94	-	0.61
	17	976.4	α -依兰油烯	1.70	1.13	1.16	0.24
	18	984.6	α -金合欢烯	5.53	10.98	4.79	6.15
	19	998.5	Δ -杜松烯	2.68	1.29	1.47	0.22
	20	1078.3	(-)- α -蒎烯	-	-	0.05	-
	21	1099.2	(E)-1-甲基-4-(6-甲基庚-5-烯-2-亚叉)环己烯	0.11	0.18	-	-
	22	1178.1	8-异丙基-1-甲基-3-亚甲基三环[4.4.0.0 ^{2,7}]癸烷	-	-	-	0.22
	23	1245.5	(+)-香橙烯	0.53	0.25	0.74	-
酸类	1	704.4	2-乙酸乙氧-羧基酸	0.85	-	-	-
	2	769.7	乙酸	2.58	1.20	3.08	0.52
	3	834.5	丙酸	0.26	-	-	-
	4	1044.2	己酸	0.27	0.18	0.27	0.78
	5	1114.1	(E)-3-己烯酸	0.11	0.11	0.20	-
	6	1121.5	反式-2-己烯酸	-	-	-	0.21
	7	1232.9	壬酸	-	-	-	0.14
	8	1398.5	苯甲酸	-	-	0.11	-
其他	1	213.3	二甲基硫	1.73	0.699	1.46	0.30
	2	239.8	(α -甲基苯并咪唑-6-基)甲酸盐	0.32	-	-	-
	3	255.2	9-(甲苯氨基硫)-9-异丙基苄	-	-	-	0.21
	4	297.1	烯丙基丁基醚	-	-	-	0.16
	5	324.9	2-乙基咪唑	-	-	-	0.43
	6	373.6	乙腈	0.10	-	-	-
	7	385.2	[(2-丙烯氧基)甲基]-环丙烷	-	-	0.21	0.18
	8	502.5	间二甲苯	-	-	0.18	-
	9	502.9	1,2-二甲苯	0.20	-	-	-
	10	522.7	3-甲基十一烷	0.35	-	-	-
	11	584.7	2-正戊基咪唑	0.11	-	-	0.14

续表 6

物质类别	分类与序号	保留时间/s	物质名称	相对含量/%			
				HD	MVD	MVD+HD	FD
	12	584.7	2-正戊基呋喃	-	-	-	-
	13	605.5	乙酰基环己烯	0.11	-	-	-
	14	704.5	二乙二醇二乙醚	0.77	0.70	0.30	-
	15	764.1	反式芳樟醇氧化物	-	-	-	0.10
	16	787.0	氧化反芳樟醇(呋喃)	-	-	-	2.01
	17	811.7	2-正丙基呋喃	-	0.12	-	-
	18	839.4	苯亚甲基-盐酸二甲胺	3.45	-	-	-
	19	839.4	N-苄基二甲基氯化铵	-	-	3.61	-
	20	901.5	2-甲基-3,3-d2-氮杂吡啶	-	-	0.19	-
	21	943.8	N-(2-羟基庚基)酞亚胺	0.20	-	-	-
	22	1002.3	萘	1.19	-	-	-
	23	1002.3	7-甲基-4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-萘	-	0.82	0.71	0.25
	24	1092.4	1,2-二甲基二氮杂吡啶	-	-	0.01	-
	25	1152.9	2,2-二甲基-5-丁基-2,3-二氢苯并呋喃	0.12	0.50	0.90	0.10
	26	1245.5	4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萘	0.13	-	-	-
	27	1416.8	吲哚	0.20	7.08	0.13	-

注：表中的物质为相对含量≥0.1%可鉴定的物质，-为未鉴定出或相对含量低于0.1%的物质。

2.7 不同干燥方式茉莉花电子鼻分析差异性

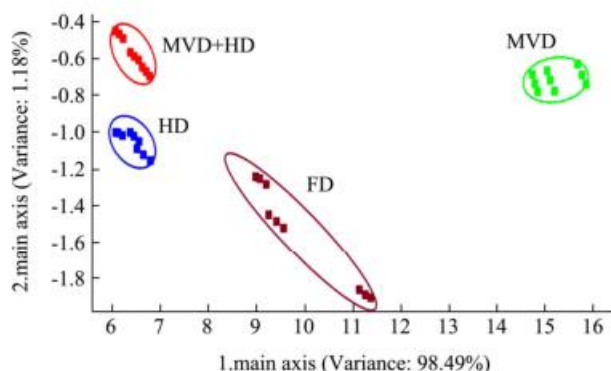


图2 茉莉花电子鼻 PCA 二维图

Fig.2 Two-dimensional PCA map of E-nose of Jasmine

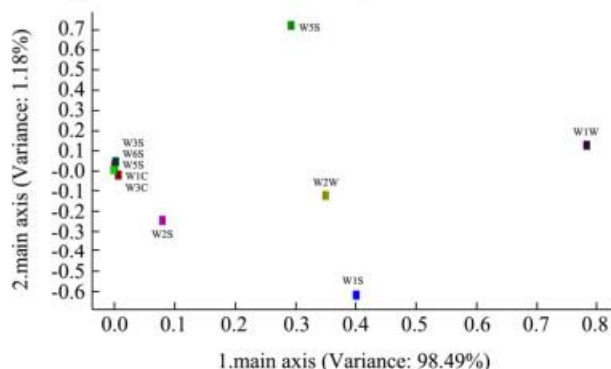


图3 干燥茉莉花传感器贡献率分析图

Fig.3 Loading analysis of jasmine by different drying methods

图 2 为茉莉花电子鼻主成分分析 (Principal

Component Analysis, PCA) 图, PCA 累计贡献率越大, 样品间坐标上距离越大, 则样品之间的差异越大^[30]。通过 PCA 图可以判定电子鼻是否能区分不同干燥方式茉莉花的香气, 从图中可以看出, 第一主成分(横坐标 PC1)的贡献率达到 98.49%, 第二主成分(纵坐标 PC2)的贡献率为 1.18%, 第一主成分与第二主成分的累积贡献率达 99.67%, 说明 2 个主成分能够较好反映干燥茉莉花挥发气体的主要信息特征。且不同样品在 PCA 图中没有交叉重叠, 说明不同干燥处理改变了茉莉花挥发性香气物质。不同干燥组组内一致性较好且各处理组之间具有较好区分度, WVD 组在 PC1 上贡献率最高, WVD+HD 在 PC2 上贡献最大, FD 组在 PC1 上贡献率较高。总体来看, 利用 PCA 各干燥方式的茉莉花均能被较好地地区分开, 可以达到区分不同茉莉花样品目的。

PEN3 型号的电子鼻设备配备有 10 种型号传感器, 每个型号响应物质类型不同, 具体见表 1。通过传感器对样品挥发性成分贡献率的分析, 可区分当前参数条件下传感器的相对重要性, 传感器贡献率越高, 则该传感器的识别能力越强^[31]。从图 3 不同干燥方式下茉莉花样品的传感器贡献率分析图可知, 第 1 主成分和第 2 主成分总贡献率为 99.67%, 说明利用该方法可以有效区分 10 种型号的传感器对不同干燥方式的茉莉花挥发性成分的敏感程度。从图中可以看出 W1W 传感器对第 1 主成分贡献率最大, W1S、W2W

和 W5S 逐渐次之; W5S 传感器对第 2 主成分贡献率最大, W1W 次之; 其中 W1W、W5S 传感器在第 1、2 主成分上贡献率都很大, 是区别不同干燥方式下茉莉花挥发性成分的主要传感器。W1W 对无机硫化物灵敏、W1S 主要对甲基类灵敏, W2S 对醇类、醛酮类灵敏, W5S 对氮氧化合物灵敏。由此可说明不同干燥方式的茉莉花挥发性物质差异主要表现在无机硫化物和甲基类化合物上, 同时醇类、醛酮类和氮氧化合物也存在一定差异。这也侧面验证了表 2 中不同干燥方式的茉莉花通过 HS-SPMC-GC-MS 检测的挥发性成分的分析结果。

3 结论

3.1 采用 HD、MVD、MVD+HD 和 FD 4 种方式干燥新鲜茉莉花, 得出干燥方式对茉莉花 L^* 、 a^* 、 b^* 以及叶绿素含量有显著的影响, FD 组整茉莉花的 L^* 值最大, a^* 值和 ΔE 最小, 叶绿素、总酚含量最高, 抑制羟自由基能力最强。4 种干燥方式的茉莉花总氨基酸含量为 MVD+HD>HD>MVD>FD, MVD+HD 总氨基酸含量最高为 8.32 mg/g, 是 FD 总氨基酸含量的 1.98 倍, MVD+HD 总氨基酸含量、必需氨基酸含量、必需氨基酸占比均为最高。鲜味氨基酸和甜味氨基酸是茉莉花的主要呈味氨基酸, MVD 干燥的茉莉花鲜味氨基酸含量最高为 2.39 mg/g, 占氨基酸总量的 45.09%, HD、FD 两组的鲜味氨基酸含量接近, MVD+HD 组含量最低仅为 1.73 mg/g。茉莉花甜味氨基酸排序为 MVD+HD>HD>FD>MVD, 芳香族氨基酸排序为 MVD>HD>MVD+HD>FD。4 种干燥方式的茉莉花呈味氨基酸相对含量都高于 60%, 说明呈味氨基酸组成茉莉花中氨基酸的主要部分。

3.2 HS-SPME-GC-MS 结合电子鼻分析茉莉花挥发性成分, 得出苯甲醇、芳樟醇、 α -金合欢烯等是茉莉花干花的主要芳香物质, 醇类在茉莉花干花挥发性成分中相对含量最大, MVD、MVD+HD 和 FD 组茉莉花醇类的相对含量均在 50% 以上。4 种干燥方式 FD 组的茉莉花醇类、酯类和醛类相对含量最高分别为 53.37%、5.40%、17.99%; 酮类、烷烃类、酸类在 HD 组中相对含量最高, 烯炔类和其他类在 MVD 组相对含量最高, 说明 FD 组能最大限度的保留茉莉花主要香气物质, 而 HD 组损失最大。采用电子鼻可以有效区分 4 种干燥方式的茉莉花, 主要表现在无机硫化物和甲基类短链化合物上, 同时醇类、醛酮类和氮氧化合物也存在一定差异。综合表明, FD 干燥的茉莉花品质和风味最佳, 可开发成高端茉莉花产品; 但真空冷冻干燥存在能耗大, MVD+HD 便于实现产业化生

产, 可作为茉莉花一种较理想的干燥方式。本研究对茉莉花干燥及后续产品的开发提供理论参考和实践借鉴。

参考文献

- [1] 陆宁, 宛晓春, 潘冬. 茉莉花茶香气成分与品质之间关系的初步研究[J]. 食品科学, 2004, 25(6): 93-97
LU Ning, WAN Xiaochun, PAN Dong. Extraction and analysis of jasmine tea aroma constituents of three different grades [J]. Food Science, 2004, 25(6): 93-97
- [2] 刘仲华. 茉莉花茶产业概况与创新发展[J]. 中国茶叶, 2021, 43(3): 1-5
LIU Zhonghua. Overview and innovative development of jasmine tea industry [J]. China Tea, 2021, 43(3): 1-5
- [3] 傅天龙, 郭晨, 傅天甫, 等. 福州 8 种主要茉莉花茶特征香气成分比较与分析[J]. 茶叶科学, 2020, 40(5): 656-664
FU Tianlong, GUO Chen, FU Tianfu, et al. Comparison and analysis of characteristic aroma components of eight main jasmine teas in Fuzhou [J]. Journal of Tea Science, 2020, 40(5): 656-664
- [4] 卢健, 王东, 朱建杰, 等. 茉莉花茶隔离窖制中主要影响因子对挥发性组分的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 65-74
LU Jian, WANG Dong, ZHU Jianjie, et al. Effects of main factors on the volatile compounds of jasmine scented tea during the isolated scenting process [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 65-74
- [5] 陈梅春, 张海峰, 朱育菁, 等. 茉莉花茶窖制过程香气形成机制的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(4): 1546-1553
CHEN Meichun, ZHANG Haifeng, ZHU Yujing, et al. Formation of aroma compounds in jasmine tea during scenting process [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(4): 1546-1553
- [6] 赵国飞, 罗理勇, 常春, 等. 离体茉莉花释香过程的香气成分特征[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 120-126
ZHAO Guofei, LUO Liyong, CHANG Rui, et al. Aroma characteristics of jasmine during postharvest release of fragrance [J]. Food Science, 2015, 36(18): 120-126
- [7] 邱程阳, 孔慧梅, 郑方正, 等. 不同干燥方法对铁皮石斛花黄酮含量和抗氧化活性的影响[J]. 时珍国医国药, 2020, 3: 598-600
QIU Chengyang, KONG Huimei, ZHENG Fangzheng, et al. Effects of different drying methods on flavonoids content and antioxidant capacity of dendrobium candidum flower [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2020, 3: 598-600
- [8] 卢紫娟, 王玉龙, 王旭峰, 等. 不同干燥方式对款冬花主要化学

- 成分的影响[J].中国药学杂志,2020,55(11):895-899
- LU Zijuan, WANG Yulong, WANG Xufeng, et al. Effect of different drying methods on the chemical composition of *Farfarae flos* [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2020, 55(11): 895-899
- [9] Zheng M Y, Xia Q L, Lu S M. Study on drying methods and their influences on effective components of loquat flower tea [J]. Food Science and Technology, 2015, 63: 14-20
- [10] Wang Y, Li X, Chen X T, et al. Effects of hot air and microwave-assisted drying on drying kinetics, physicochemical properties, and energy consumption of chrysanthemum [J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2018, 129: 84-94
- [11] Jia S C, Yun Y Z, Run H M, et al. Effects of roasting level on physicochemical, sensory, and volatile profiles of soybeans using electronic nose and HS-SPME-GC-MS [J]. Food Chemistry, 2021, 340: 127880
- [12] Du H Z, Chen Q, Liu Q, et al. Evaluation of flavor characteristics of bacon smoked with different woodchips by HS-SPME-GC-MS combined with an electronic tongue and electronic nose [J]. Meat Science, 2021, 182: 108626
- [13] Qiao S, Deng G M, Sheng O, et al. Influence of harvest season on volatile aroma constituents of two banana cultivars by electronic nose and HS-SPME coupled with GC-MS [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 265: 109214
- [14] Korös A, Varga Z S, Molnárperl I. Simultaneous analysis of amino acids and amines as their o-phthalaldehyde-ethanethiol-9-fluorenylmethyl chloroformate derivatives in cheese by high-performance liquid chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1203(2): 146-152
- [15] 刘建林,孙学颖,张晓蓉,等.GC-MS结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分[J].中国食品学报,2021,21(5):348-354
- LIU Jianlin, SUN Xueying, ZHANG Xiaorong, et al. Analysis of flavor components of fermented mutton jerky by GC-MS combined with electronic nose/electronic tongue [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5): 348-354
- [16] 林羨,徐玉娟,肖更生,等.干燥方式对辣木叶营养活性成分、抗氧化活性及色泽的影响[J].热带作物学报,2018,39(12): 2465-2472
- LIN Xian, XU Yujuan, XIAO Gengsheng, et al. Effects of drying methods on bioactive components, antioxidant capacity and color of the leaves of *Moringa oleifera* Lam [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(12): 2465-2472
- [17] Von W D, Gough S, Kannangara C G. Chlorophyll biosynthesis [J]. The Plant Cell, 1995, 7(7): 1039-1057
- [18] 刘志平,韦英亮,崔建国.广西横县蓉茶后茉莉花渣化学成分研究[J].广西科学,2009,16(3):300-301
- LIU Zhiping, WEI Yingliang, CUI Jianguo. Chemical constituents from the slag of Guangxi Hengxian *Jasmine sambac* [J]. Guangxi Sciences, 2009, 16(3): 300-301
- [19] 赵金梅,孙蕊,巩丽莉,等.干燥方式对沙枣花品质和挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2020,41(22):265-270
- ZHAO Jinmei, SUN Rui, GONG Lili, et al. Effects of different drying methods on nutritional and volatile aroma components in flowers of *Elaeagnus angustifolia* [J]. Food Science, 2020, 41(22): 265-270
- [20] 罗爱月,农建鹏,吕金萍,等.广西茉莉花叶不同极性部位提取物的抗氧化活性[J].中国临床药理学杂志,2018,34(6): 703-706
- LUO Aiyue, NONG Jiandan, LYU Jinping, et al. Antioxidant activity of different polar fractions from Guangxi jasmine leaves [J]. Chinese Journal of Clinical Pharmacology, 2018, 34(6): 703-706
- [21] Erkan N, Özden Ö. The changes of fatty acid and amino acid compositions in sea bream (*Sparus aurata*) during irradiation process [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2007, 76(10): 1636-1641
- [22] 黄艳,商虎,朱嘉威,等.加工工艺对茶树花品质及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2020,41(11):165-170
- HUANG Yan, SHANG Hu, ZHU Jiawei, et al. Effects of processing treatments on quality and antioxidant activity of tea plant flower [J]. Food Science, 2020, 41(11): 165-170
- [23] 刘伟,张群,李志坚,等.不同品种黄花菜游游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J].食品科学,2019,40(10):243-250
- LIU Wei, ZHANG Qun, LI Zhijian, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds [J]. Food Science, 2019, 40(10): 243-250
- [24] 沈思远,施文正,曲映红,等.热风微波联合干燥过程中南美白对虾滋味物质变化研究[J].食品科学技术学报,2021,39(3):52-61
- SHEN Siyuan, SHI Wenzheng, QU Yinghong, et al. Changes of taste substance of *Litopenaeus vannamei* during hot air-microwave combined drying [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(3): 52-61

(下转第 34 页)

- Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2009, 37(11): 90-96
- [12] 温先勇,薛莉,邓正华.老年心肌缺血/再灌注的氧化损伤与抗氧化能力的检测[J].中原医刊,2004,3:2-3
WEN Xianyong, XUE Li, DENG Zhenghua. Detection of oxidative damage and antioxidant capacity in elderly myocardial ischemia/reperfusion [J]. Zhongyuan Medical Journal, 2004, 3: 2-3
- [13] 刘培建,苗明三,高渐联.熟地黄多糖对气血双虚小鼠全血细胞及血清粒-巨噬细胞集落刺激因子水平的影响[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,38:7543-7546
LIU Peijian, MIAO Mingsan, GAO Jianlian. Effects of *Rehmannia glutinosa* polysaccharides on whole blood cells and serum granule-macrophage colony-stimulating factor levels in mice with deficiency of both qi and blood [J]. Chinese Tissue Engineering Research and Clinical Rehabilitation, 2008, 38: 7543-7546
- [14] Morsink M, Willems N, Leijten J, et al. Immune organs and immune cells on a chip: an overview of biomedical applications [J]. Micromachines (Basel), 2020, 11(9): 849
- [15] Sohal R S, Allen R G. Oxidative stress as a causal factor in differentiation and aging: a unifying hypothesis [J]. Exp Gerontol, 1990, 25(6): 499-522
- [16] Alscher R G, Erturk N, Heath L S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants [J]. J Exp Bot, 2002, 53(372): 1331-1341
- [17] Djordjevic A, Spasic S, Jovanovic-Galovic A, et al. Oxidative stress in diabetic pregnancy: SOD, CAT and GSH-Px activity and lipid peroxidation products [J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2004, 16(6): 367-372
- [18] Pirinccioglu A G, Gokalp D, Pirinccioglu M, et al. Malondialdehyde (MDA) and protein carbonyl (PCO) levels as biomarkers of oxidative stress in subjects with familial hypercholesterolemia [J]. Clin Biochem, 2010, 43(15): 1220-1224
- [19] Wojcik P, Gegotek A, Zarkovic N, et al. Oxidative stress and lipid mediators modulate immune cell functions in autoimmune diseases [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(2): 723
- [20] Li S, Hong M, Tan H Y, et al. Insights into the role and interdependence of oxidative stress and inflammation in liver diseases [J]. Oxid Med Cell Longev, 2016: 4234061
- [21] De la Fuente M. Effects of antioxidants on immune system ageing [J]. Eur J Clin Nutr, 2002, 56(Suppl 3): S5-S8

(上接第 259 页)

- [25] Kirimura J, Shimizu A, Kirimura A, et al. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4): 689-695
- [26] 侯娜,赵莉莉,魏安智,等.不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J].食品科学,2017,38(18):113-118
HOU Na, ZHAO Lili, WEI Anzhi, et al. Amino acid composition and nutritional quality evaluation of different germplasms of Chinese prickly ash (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim) [J]. Food Science, 2017, 38(18): 113-118
- [27] 陈青,姚蓉君,张前军.固相微萃取气质联用分析野茉莉花的香气成分[J].精细化工,2007,24(2):159-161
CHEN Qing, YAO Rongjun, ZHANG Qianjun. Analysis of volatile components from flowers of *Styrax japonicus* Sieb by GC-MS with solid-phase microextraction [J]. Fine Chemicals, 2007, 24(2): 159-161
- [28] Edris A E, Chizzola R, Franz C. Isolation and characterization of the volatile aroma compounds from the concrete headspace and the absolute of *Jasminum sambac* (L.) Ait. (Oleaceae) flowers grown in egypt [J]. European Food Research and Technology, 2008, 226(3): 621-626
- [29] Chen M C, Zhu, Y J, Liu B, et al. Changes in the volatiles, chemical components, and antioxidant activities of Chinese jasmine tea during the scenting processes [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(3): 681-693
- [30] Gu X, Sun Y, Tu K, et al. Predicting the growth situation of *Pseudomonas aeruginosa* on agar plates and meat stuffs using gassensors [J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 38721
- [31] Pei F, Yang W, Ma N, et al. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 72: 343-350